

**Основные результаты работ
по исполненным этапам Государственного контракта
№ 16.740.11.0673 от 07 июня 2011 г.
и Дополнению от 06 марта 2012 г. № 1**

В отчете представлены результаты исследований, выполненных по Государственному контракту № 16.740.11.0673 "Проведение экспериментальных и теоретических исследований ветро-волнового взаимодействия в пограничных слоях атмосферы и гидросферы для разработки новых методик прогнозирования и мониторинга гидрометеорологической обстановки при экстремальных условиях" (шифр "2011-1.3.1-220-010") от 07 июня 2011 по направлению "Проведение научных исследований молодыми кандидатами наук в следующих областях: - мониторинг и прогнозирование состояния атмосферы и гидросферы; - оценка ресурсов и прогнозирование состояния литосферы и биосферы; - переработка и утилизация техногенных образований и отходов; - снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф; - экологически безопасные разработки месторождений и добычи полезных ископаемых; - экологически безопасные ресурсосберегающие производства и переработки сельскохозяйственного сырья и продуктов питания" в рамках мероприятия 1.3.1 "Проведение научных исследований молодыми учеными - кандидатами наук.", мероприятия 1.3 "Проведение научных исследований молодыми учеными - кандидатами наук и целевыми аспирантами в научно-образовательных центрах", направления 1 "Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий." федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Основной целью данного проекта является анализ процессов происходящих в пограничных слоях атмосферы и океана при экстремальных гидрометусловиях (ураганах и штормах), построение и анализ теоретических моделей и сравнения их результатов с данными лабораторных экспериментов. На четвертом этапе данного проекта необходимо было провести лабораторное моделирование мелкомасштабных турбулентных процессов в пограничных слоях атмосферы и океана в широком диапазоне изменения гидрометусловий, включая экстремальные (ураганные ветра) на Высокоскоростном ветро-волновом канале ИПФ РАН. Также одной из целей на данном этапе являлась обработка результатов, полученных в ходе лабораторных экспериментов на Высокоскоростном ветро-волновом канале. В связи с необходимостью исследования процессов энергообмена в пограничных слоях атмосферы и океана было проведено лабораторное моделирование, основанное на разработанной ранее экспериментальной методике измерения параметров ветра и поверхностного волнения при ураганных ветрах на базе созданного ветро-волнового канала большого термостратифицированного бассейна БТСБ ИПФ РАН. Для контроля

параметров воздушного потока (температура, скорость на оси) на входе в канал был установлен термоанемометр, для измерения компонент скорости в горизонтальной плоскости расположения антенн датчика использован ультразвуковой измеритель скорости WindSonic и L-образные трубки Пито. Измерительные датчики располагались на специальном сканирующем устройстве. Параметры поля ветровых волн в экспериментах измерялись тремя струнными волнографами, расположенными в углах равностороннего треугольника со стороной 2 см и частотой измерения 100 Гц. Пространственно-угловые спектры были получены путем обработки с помощью метода WDM (wavelet directional method) из данных со струнных волнографов, предназначенных для контроля возвышения поверхности воды. В результате проведенных экспериментов с использованием метода профилирования удалось детально измерить профили скорости ветра при различных частотах вращения вентилятора (различных скоростях ветра). В ходе лабораторного моделирования была также продемонстрирована возможность создания воздушного потока со скоростями от 4.5 до 25 м/с на оси канала.

Одной из основных характеристик ветрового пограничного слоя, является коэффициент сопротивления морской поверхности, определяющий её воздействие на ветер. Классический метод измерения коэффициента сопротивления путем профилирования основан на свойстве стационарного турбулентного пограничного слоя, согласно которому сохраняется тангенциальное турбулентное напряжение. Благодаря тому, что средняя скорость потока отвечает логарифмическому закону, скорость трения может быть определена, если измерен профиль скорости. Однако для аэродинамических труб и ветровых каналов характерно развитие турбулентного пограничного слоя вдоль направления распространения ветра. На различных расстояниях от поверхности в пограничном слое может быть выделено три подслоя: вязкий подслой, слой, слой постоянных потоков и следная часть. Вязкий подслой, где эффекты вязкости существенны, формируется над гидродинамически гладкими поверхностями на расстояниях меньших чем 20-30 вязких длин. Следная часть – внешняя часть турбулентного пограничного слоя, где поток пограничного слоя переходит во внешний поток. Его толщина линейно возрастает вдоль канала. Слой постоянных потоков начинается на верхней границе вязкого подслоя. Только в слое постоянных потоков профиль скорости логарифмический и может быть экстраполирован на стандартную метеорологическую высоту H_{10} . Обычно в аэродинамических трубах и ветровых каналах толщина слоя постоянных потоков меньше чем 10 см. Измерение профилей скорости ветра ближе 10 см от взволнованной поверхности при сильных ветрах было затруднено из-за присутствия в потоке сдуваемых с гребней волн брызг. К счастью, параметры слоя постоянных потоков могут быть получены из измерений в следной части турбулентного пограничного слоя, так как профиль скорости в развивающемся турбулентном пограничном слое оказывается автомодельным. В ходе исследований выяснились параметры

турбулентного пограничного слоя путем аппроксимации экспериментальных данных. Затем были вычислены параметры логарифмического пограничного слоя. В результате были определены значения коэффициентов сопротивления поверхности, соответствующих различным скоростям ветра, получена хорошо заметная тенденция к насыщению коэффициента сопротивления поверхности. Проведено сравнение зависимости крутизны преобладающих волн от скорости ветра с зависимостью коэффициента сопротивления, в результате показано, что смена режима волнового поля соответствует насыщению коэффициента сопротивления поверхности. Сдувание гребней волн, чья крутизна превышает определенный предел, приводит к эффективному сглаживанию волн и преобладающая крутизна волн перестает зависеть от скорости ветра.

По материалам исследований сделаны доклады на семи международных и одной всероссийской конференциях, опубликованы 2 статьи в ведущем зарубежном журнале «Journal of Geophysical Research», «Journal of Physical Oceanography», опубликована статья в коллективной монографии «Современные оптические методы исследования потоков». Все публикации снабжены ссылкой на проведение НИР в рамках Федеральной целевой программы «Кадры инновационной России 2009-2013». Подготовлены и сданы научно-технические отчеты по 1-4 этапам.